

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift
(10) DE 195 38 826 A 1

(51) Int. Cl. 6:
G 05 B 19/18

DE 195 38 826 A 1

(21) Aktenzeichen: 195 38 826.7
(22) Anmeldetag: 18. 10. 95
(23) Offenlegungstag: 30. 4. 97

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

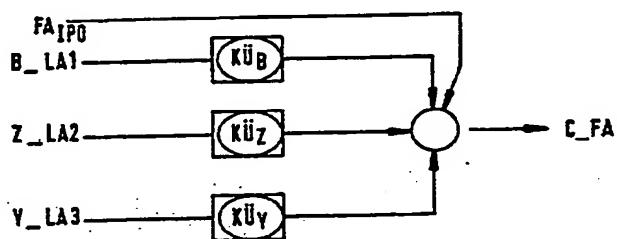
(72) Erfinder:
Baer, Thomas, Dipl.-Ing., 91098 Möhrendorf, DE;
Welker, Johannes, Dipl.-Ing., 92318 Neumarkt, DE

(55) Entgegenhaltungen:
EP 02 50 775 A2

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen

(55) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung, wobei, sofern nicht bereits bestimmt, definierte Positionen für die Leitachse (B_{LA1} , C_{LA2} , Y_{LA3}) und Folgeachsen (C_FA) bezogen auf das Absolutlagersystem bestimmt werden, die Kopplung eingeschaltet wird und die Leitachsen (B_{LA1} , C_{LA2} , Y_{LA3}) auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren werden, gewartet wird, bis die Folgeachsen (C_FA) eine synchrone Drehzahl erreicht haben, die Leitachsenpositionen und Folgeachsenpositionen gemessen werden, die Meßwerte zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert werden und für jede Folgeachse (C_FA) ein Synchronlauffehler (ΔC) ermittelt wird und dieser Synchronlauffehler durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse (C_FA) ausgeglichen wird. Im Falle des Vorliegens von Folgeachsen, die als periodische Achsen ausgeprägt sind, erfolgt eine Verkürzung des Synchronisierweges zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers durch Modulordnung mit der Teilung der zugehörigen Folgeachse.



DE 195 38 826 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
BUNDESDRUCKEREI 03.97 702 018/22

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung.

Bei Maschinen mit elektronischer Achskopplung, bei welchen Leitachsen die Bewegungen von Folgeachsen bedingen, ist es oftmals erforderlich, diese beteiligten Leit- und Folgeachsen in eine definierte Lage zueinander zu bringen. Solche Maschinen sind z. B. numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen wie Walzfräsmaschinen, Synchronspindeln oder Roboter. Z.B. beim Zahnraddachbearbeiten durch Wälzschräglängen muß eine Schleifschnecke exakt in das vorgefertigte Zahnräder eintau-chen. In einem solchen Fall stellt die Schleifschnecke eine Leitachse dar, das Zahnräder, welches das Werkstück darstellt, wird von einer Folgeachse bewegt.

Herkömmliche Verfahren zur Synchronisierung von Leit- und Folgeachsen erfordern es, daß Leit- und Folgeachse bei jedem Einsynchronisierungsvorgang erneut an eine spezielle, genau definierte Position gefahren werden, anschließend die Kopplung eingeschaltet wird und zuletzt die Leitachsen auf Bearbeitungsgeschwindigkeit hochgefahren werden. In einem anderen bisher bekannten Verfahren werden Folgeachsen und alle Leitachsen bis auf eine definierte Position gefahren und die letzte Leitachse, eine sogenannte Hauptleitachse wie beispielsweise eine Spindel, wird auf Arbeitsdrehzahl geführt. Wenn diese letzte Leitachse eine definierte Position überfährt, wird die Kopplung eingeschaltet.

Beide Verfahren haben jedoch zur Folge, daß sie sehr zeitaufwendig sind, da vor der Bearbeitung jeweils erneut positioniert werden muß. Außerdem muß bei dem zweiten genannten herkömmlichen Verfahren ein sehr exakter Hochlauf der Folgeachse erfolgen, um zu verhindern, daß dabei Positionsverluste verloren werden, was zwangsläufig zu einem Synchronlauffehler führen würde.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so auszubilden, daß es einerseits zeitoptimal arbeitet, andererseits ein jeweils erneutes Positionieren von Leit- und Folgeachsen vor der Bearbeitung vermieden werden kann, so daß eine Einsynchronisation während des Verfahrens ermöglicht wird. Dies soll beispielsweise auch bei einem Umschalten der Übersetzungsverhältnisse von einem Werkstück zum nächsten möglich sein.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch folgende Verfahrensschritte gelöst:

- 1.1 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,
- 1.2 es wird gewartet bis die Folgeachsen eine synchrone Drehzahl erreicht haben,
- 1.3 die Leitachsenpositionen und Folgeachsenpositionen werden gemessen,
- 1.4 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,
- 1.5 zu jeder Folgeachse wird ein Synchronlauffehler ermittelt,
- 1.6 jeder Synchronlauffehler wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse ausglichen.

In einer alternativen Lösung wird der Tatsache Rech-

nung getragen, daß sich Leitachse und Folgeachsen zu Beginn nicht in einer Synchronposition befinden. In einem solchen Fall wird die Aufgabe durch folgende Verfahrensschritte gelöst:

- 2.1 definierte Positionen für die Leitachsen und Folgeachsen bezogen auf das Absolutlagesystem werden bestimmt,
- 2.2 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,
- 2.3 es wird gewartet bis die Folgeachsen eine synchrone Drehzahl erreicht haben,
- 2.4 die Leitachsenpositionen und Folgeachsenpositionen werden gemessen,
- 2.5 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,
- 2.6 zu jeder Folgeachse wird ein Synchronlauffehler ermittelt,
- 2.7 jeder Synchronlauffehler wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse ausglichen.

In einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung wird dieses speziell im Hinblick auf den Fall optimiert, daß Folgeachsen als periodische Achsen ausgeprägt sind. Dies wird durch folgende weitere Verfahrensschritte erreicht:

- 3.1 der Synchronisierweg zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers wird durch Modulordnung mit der Teilung der zugehörigen Folgeachse ermittelt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird erreicht, daß das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung für den Anwendungsfall, daß Folgeachsen als endlos drehende Rundachsen ausgeprägt sind, optimiert wird und dadurch eine noch schnellere Einsynchronisation erfolgen kann. Dies wird durch folgende weiteren Verfahrensschritte erreicht:

- 4.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls eine Umdrehung der zugehörigen Folgeachse.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung wird der Anwendungsfall, daß Folgeachsen als Teilungssachsen ausgeprägt sind, berücksichtigt. Auch hierfür wird eine zeitoptimale Durchführung der Einsynchronisation zwischen Leitachsen und Folgeachsen ermöglicht und dadurch ein Einsynchronisieren weiter beschleunigt. Es wird durch folgenden weiteren Verfahrensschritt erreicht:

- 5.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls der Teilungszahl der zugehörigen Folgeachse.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird erreicht, daß die Bestimmung einer Synchronposition beim Einrichten von Werkzeug und Werkstück vollautomatisch erfolgen können. Dies geschieht durch folgenden weiteren Verfahrensschritt:

6.1 die definierte Position für die Folgeachse wird durch einen berührungslosen Sensor oder einen berührenden Sensor bezogen auf das Absolutlagesystem bestimmt.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß Leit- und Folgeachsen für ein Einsynchronisieren nicht ständig erneut vor der Bearbeitung positioniert werden müssen, sondern zeitoptimal einsynchronisiert werden. Darüber hinaus ist eine Einsynchronisation während des Verfahrens jederzeit möglich. Auch unter Einbeziehung des Falles, daß Folgeachsen als periodische Achsen, endlosdrehende Rundachsen oder Teilungssachsen ausgeprägt sind, wird das zeitoptimale Verhalten gewährleistet, indem ein Einsynchronisieren in noch kürzerer Zeit durchgeführt werden kann.

Weitere Vorteile und erforderliche Einzelheiten ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung und in Verbindung mit den Unteransprüchen. Dabei zeigen im einzelnen:

Fig. 1 Anordnung eines elektrischen Getriebes anhand des Zahnradnachbearbeitens durch Wälzschleifen mit einer Schleifschncke als Leitachse und zu fertigendem Zahnrad als Folgeachse und

Fig. 2 Prinzipskizze der Signalführung zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen.

Fig. 3 Skizze zum vollautomatischen Einrichten von Folgeachse und Leitachse am Beispiel einer Zahnradbearbeitung,

Fig. 4 automatisches Einrichten eines Zahnrades und einer Schleifschncke mit einem berührungslosen Sensor, welcher der Position des Werkzeugs gegenüber liegt,

Fig. 5 vollautomatisches Einrichten eines Zahnrades und einer Schleifschncke mit Hilfe eines berührenden Meßstatters.

In der Darstellung gemäß Fig. 1 ist eine Anordnung eines elektrischen Getriebes anhand des Anwendungsfalles des Zahnradnachbearbeitens durch Wälzschleifen dargestellt. Dabei muß eine Wälzschleifschncke B exakt in die Lücken des Zahnrades C greifen, was durch die Schraffur der beiden Elemente angedeutet ist. Die Wälzschleifschncke B wird durch eine erste Leitachse B_LA1 angetrieben, während das Zahnrad C durch eine Folgeachse C_FA geführt wird. Beide Achsen sind in Form von Pfeilen gezeigt, die durch den Mittelpunkt verlaufen. Ein geschwungener Pfeil deutet jeweils die Tatsache an, daß es sich um Umdrehungssachsen handelt. Daneben sind zwei weitere Leitachsen Z_LA2 und Y_LA3 vorgesehen. Diese müssen als Voraussetzung für ein erfolgreiches Einsynchronisieren von Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 und Folgeachse C_FA auf definierten Positionen bezogen auf ihr absolutes Lagesystem stehen. Diese auch als Synchronpositionen bezeichneten Positionen sind für die Leitachsen mit B_0 , Y_0 und Z_0 , sowie für die Folgeachse mit C_0 bezeichnet.

Ist eine solche Synchronposition C_0 , B_0 , Y_0 , Z_0 zu Beginn nicht vorhanden, so muß diese vorab ermittelt werden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß alle Leitachsen und die Folgeachse in eine definierte Ausgangsposition verfahren werden.

Unter der Voraussetzung, daß die Übersetzungsverhältnisse K_{UB} , K_{UZ} , K_{UY} korrekt angegeben sind, kann nun mit jeder Leitachse B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 verfahren werden, ohne daß die Schleifschncke B die richtige Position im Zahnrad C verläßt. Eine Prinzip-

skizze zur Signalführung dazu ist in der Darstellung gemäß Fig. 2 gezeigt, wobei die Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 multipliziert mit einem jeweiligen Übersetzungsverhältnis K_{UB} , K_{UZ} , K_{UY} verknüpft werden. Die Verknüpfung ist durch einen Kreis dargestellt, an den die genannten Signale in Form von Pfeilen führen. Eine mögliche Verknüpfung besteht in einer Addition der zugeführten Signale. Dazu kommt ein Signal FA_{1PO}, welches zur Interpolation der Folgeachse dient. Dieses wird mit den anderen Signalen verknüpft und aus dem Verknüpfungsergebnis das Signal für die Folgeachse C_FA abgeleitet, erkennbar anhand des von dem Kreis wegführenden Pfeils. Eine Folgeposition C_1 für die Folgeachse C_FA läßt sich anhand der folgenden Berechnungsvorschrift bestimmen, wobei mit B_1 , Y_1 und Z_1 die Positionen der Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 bestimmt sind, auf die mit diesen Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 verfahren wird:

$$C_1 = C_0 + (B_1 - B_0) \cdot K_{UB} + (Z_1 - Z_0) \cdot K_{UZ} + (Y_1 - Y_0) \cdot K_{UY} \quad (1)$$

Mit dieser Berechnungsvorschrift (1) läßt sich zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Position C_1 berechnen, die die Folgeachse C_FA einnehmen muß, um synchron mit allen Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 zu sein.

Um nun ein Einsynchronisieren von Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 und Folgeachse C_FA gemäß der vorliegenden Erfindung herbeizuführen, wird eine Kopplung zwischen Leitachsen B_LA1; Z_LA2 und Y_LA3 und Folgeachse C_FA sofort eingeschaltet und alle Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 werden auf ihre Bearbeitungsgeschwindigkeit hochgefahrene. Die Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 können sich aber beispielsweise vom letzten Bearbeitungsprogramm noch in Bewegung befinden. In einem solchen Fall wird die Kopplung auch sofort eingeschaltet und die Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 werden auf ihre neue Bearbeitungsgeschwindigkeit gefahren. Aufgrund der Kopplung von Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 und Folgeachse C_FA ändert auch die Folgeachse C_FA ihre Geschwindigkeit. Dabei kann die Folgeachse C_FA entsprechend einer festgelegten Beschleunigungsrampe, welche beispielsweise durch die Dynamik des für die Folgeachse C_FA vorgesehenen elektrischen Antriebes bestimmt wird, beschleunigt werden. Dabei kann es jedoch passieren, daß Weginkremente, die aufgrund einer eventuell vorhandenen Beschleunigungsbegrenzung nicht abgefahren werden, verloren gehen. Dies führt zu einem Synchronlauffehler ΔC , welcher die Abweichung zwischen der gewünschten Position der Folgeachse C_FA und der tatsächlichen Position darstellt.

Nach Ende des Hochlaufs der Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 wird solange gewartet, bis die Folgeachse C_FA eine zu den Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 synchrone Drehzahl erreicht hat. Anschließend werden zu einem einzelnen Abtastzeitpunkt die Positionen B_M , Z_M und Y_M aller Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 und die Position C_M der Folgeachse C_FA gemessen und abgespeichert. In digitalen Systemen geschieht dies zu einem beliebigen Taktzeitpunkt. Anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (2), in die die gemessenen Positionen B_M , Z_M und Y_M von Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3 eingetragen sind, kann eine Position C^* ermittelt werden, wo sich die Folgeachse C_FA zum Abtastzeitpunkt M hätte befinden müssen, um mit den Leitachsen B_LA1, Z_LA2 und Y_LA3

synchron zu sein.

$$C^* = C_0 + (B_M - B_0) \cdot K_{UB} + (Z_M - Z_0) \cdot K_{Uz} + (Y_M - Y_0) \cdot K_{UY} \quad (2)$$

Aus der Differenz von der gemessenen Position der Folgeachse C_M und der gewünschten Position C^* wird ein eventuell vorhandener Synchronlauffehler ΔC errechnet. Das wird durch die folgende Berechnungsvorschrift wiedergegeben:

$$\Delta C = C^* - C_M \quad (3)$$

Durch Kombination der Berechnungsvorschriften (2) und (3) erhält man folgende Berechnungsvorschrift zur direkten Ermittlung eines Synchronlauffehlers ΔC :

$$\Delta C = (C_0 - C_M) + (B_M - B_0) \cdot K_{UB} + (Z_M - Z_0) \cdot K_{Uz} + (Y_M - Y_0) \cdot K_{UY} \quad (4)$$

Wenn sich nach Einschalten der Kopplung und dem Ende des Hochlaufs von Leitachsen B_{LA1} , Z_{LA2} und Y_{LA3} und Folgeachse C_{FA} aufgrund des Erreichens einer synchronen Drehzahl für die Folgeachse C_{FA} die Relativlage der Folgeachse C_{FA} zu den Leitachsen B_{LA1} , Z_{LA2} und Y_{LA3} nicht mehr ändert, wird ein berechneter Synchronlauffehler ΔC durch eine überlagerte Folgeachsbewegung ausgeglichen. Dies geschieht beispielsweise durch ein überlagertes Abfahren des Synchronlauffehlers ΔC durch einen Interpolator der Maschinesteuerung FAiPO für die Folgeachse C_{FA} und kann zu einem beliebigen Zeitpunkt mit einem beliebigen Fahrprofil erfolgen.

Für den Fall, daß eine Folgeachse C_{FA} als periodische Achse ausgeprägt ist, kann der Synchronisierweg zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers ΔC durch Modulordnung mit der Teilung verkürzt werden. Dies soll im folgenden am Beispiel einer endlos drehenden Rundachse erläutert werden. Hierbei wird der Synchronisierweg mit dem Modul eine Umdrehung bestimmt, so daß innerhalb einer einzelnen Umdrehung synchronisiert wird. Durch die Auswahl des kürzesten Weges innerhalb dieser einen Umdrehung kann der Verfahrweg zum Ausgleichen des Synchronlauffehlers ΔC auf maximal eine halbe Umdrehung der endlos drehenden Rundachse verkürzt werden.

Ein anderes Beispiel liegt dann vor, wenn eine Folgeachse C_{FA} als sogenannte Teilungsachse, z. B. beim Zahnräder, ausgeprägt ist. In diesem Fall kann der Synchronisierweg auch mit dem Modul der Teilungszahl gerechnet werden. Die Teilungszahl ergibt sich beispielsweise bei einem Zahnräder mit 24 Zähnen aus dem Quotienten aus Umlaufwinkel und Zahl der Zähne. Dies ist in dem genannten Beispiel $360^\circ / 24$. Auf diese Weise wird in die nächstliegende Zahnlücke des Zahnrads positioniert. Auch hierbei ist die Auswahl des kürzesten Weges möglich, so daß maximal eine halbe Teilung zur Positionierung in die nächstliegende Zahnlücke verfahren werden muß.

Darüber hinaus kann das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung neben dem geschilderten Ausführungsbeispiel bei der Zahnräderbearbeitung auch für verschiedene Anwendungen mit elektronisch gekoppelten Achsen bzw. elektronischem Getriebe eingesetzt werden. Dies ist beispielsweise bei Synchronspindelpaaren der Fall, um ein Werkstück in definierter Bezugslänge von einer Leit auf eine Hilfsspinde zu übergeben. Ein anderer Anwendungsfall ist bei Portalen mit zwei An-

trieben, sogenannten Gantrymaschinen, zum Geradeziehen des Portals nach dem Einschalten gegeben. Außerdem kann das Verfahren unter anderem auch zum Einsynchronisieren eines mitlaufenden Werkzeugmagazins verwendet werden, um während der Fahrt ein Werkzeug wechseln zu können.

Das im vorangehenden Ausführungsbeispiel erläuterte erfindungsgemäße Verfahren kann grundsätzlich mit beliebig vielen Leitachsen und für beliebig viele Folgeachsen durchgeführt werden.

Ein im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ebenfalls bedeutsamer Vorgang besteht im automatischen Einrichten von Werkzeug und Werkstück, um eine definierte Synchronposition C_0 , B_0 , Z_0 und Y_0 für alle beteiligten Leitachsen B_{LA1} , Z_{LA2} und Y_{LA3} sowie der Folgeachsen C_{FA} zu ermitteln. Dies soll am Beispiel der bereits in den vorigen Ausführungen zugrunde gelegten Zahnräderbearbeitung näher erläutert werden. Bei der Zahnräderbearbeitung wird vielfach das Werkstück undefiniert auf den Werkstücktisch montiert, was teilweise auch während des Verfahrens geschieht. In einem solchen Fall ist jedoch die Position C_0 der Folgeachse C_{FA} , in der das Werkstück synchron zur Leitachse ist, nicht bekannt. Die Position C_0 muß daher nach dem Einspannen mittels geeigneter Sensoren gemessen werden. Es wird dabei gemessen, in welcher Position relativ zur Absolutlageposition des Tisches eine Zahnlücke des Zahnrads liegt.

In Fig. 3 ist eine solche Konstellation dargestellt, wo bei ein Zahnräder ZR , welches durch die Folgeachse C_{FA} geführt wird, mit einer Schleifschncke B synchronisiert wird, welche durch die Leitachse B_{LA1} angetrieben wird. Wenn das Werkstückteil auf der Position C_0 steht, liegt eine Zahnlücke exakt gegenüber dem Werkzeug, in diesem Fall der Schleifschncke B . Befindet sich der Sensor an der Position des Werkzeugs, also das Zahnräder ZR , so ist C_0 die Position, an der der Sensor bei Drehung des Zahnrads ZR eine Zahnlücke registriert hat.

Ist der Sensor S an einer anderen Position angebracht, so z. B. in Fig. 4 dargestellt anhand des Falles, daß der Sensor S gegenüber von dem Werkzeug B angeordnet ist, so muß eine Sensorverschiebung ΔC_S gegenüber dem Werkzeug B mit der gemessenen Position C_M verrechnet werden, um die korrekte Position C_0 der registrierten Zahnlücke zu erhalten.

Als Sensor kann ein berührungsloser Sensor S oder ein berührender Sensor M verwendet werden. Für das Verfahren mit einem berührungslosen Sensor S läßt sich beispielsweise ein kapazitiver Sensor verwenden. Ein solcher kapazitiver Sensor wird soweit an das Werkstück herangebracht, daß er die Flanken des Zahnrads ZR messen kann. Bei Drehung des Zahnrads ZR werden die Übergänge von Luft zu Metall gemessen und für mehrere Zahnlücken abgespeichert. Eine Mittelung über alle Messungen erfolgt durch Rückrechnen der späteren Flanken auf die erste gemessene Flanke über die bekannte Teilung des Werkstückes, also des Zahnrads C . Für die zweite Flankenmessung wird das Werkstück, das Zahnräder ZR , mit gleicher Drehzahl in Gegenrichtung gedreht und wieder die Flanken gemessen, gemittelt und auf die erste Zahnlücke rückgerechnet. Die Mitte zwischen beiden Flankenmessungen ist die gemittelte Zahnlückenmitte. Durch die Richtungsumkehr bei der Messung fallen alle Hystereseeffekte des Sensors S heraus, so daß ohne ein Einmessen bereits das erste Teil richtig justiert wird. Wird der Abstand der Zahnlückenmitte zu einer Flanke gespeichert, so kann bei weiteren

Messungen, beispielsweise für eine Serienfertigung, auf das Ausmessen der zweiten Flanke verzichtet werden. Die Lückenmitte liegt um den gespeicherten Wert neben der gemessenen ersten Flanke. Aufgrund der Hysterese des Sensors S müssen Folgemessungen mit der gleichen Drehzahl wie die erste Messung erfolgen.

Nach dem gleichen Verfahren kann auch die Position eines Zahnes am Werkzeug B gemessen werden, sofern ein geeigneter Sensor zur Verfügung steht. Der Sensor braucht dabei nicht in dem eigentlichen Arbeitsraum montiert zu sein, da lediglich die absolute Lage eines Bearbeitungszahnes notwendig ist. Diese kann auch als spezielle Werkzeugkorrektur zum jeweiligen Werkstück abgespeichert werden.

In der Darstellung in Fig. 5 ist das Verfahren eines automatischen Einrichtens von Werkzeug B und Werkstück ZR anhand eines berührenden Sensors, einem Meßtaster M gezeigt. Ein Meßtaster M wird an beliebiger Stelle in die Zahnradlücke eines Zahnrades ZR geführt. Durch Drehung des Zahnrades ZR werden die absoluten Positionen der benötigten Flanken ermittelt. Daraus wird die Zahnlückenmitte bestimmt. Dieses Verfahren wird mit beliebigen weiteren Zahnlücken wiederholt. Die vorher ermittelte Zahnlückenmitte wird um die Zahl der Teilungen, um die weiter positioniert wurde, auf die neue Zahnlücke hochgerechnet und aus der oder den vorhergehenden Zahnlücken ein Mittelwert gebildet. Diese Zahnlückenmitte wird um die Sensorverschiebung ΔC_s auf die Bearbeitungsposition umgerechnet und damit nach dem eingangs erläuterten Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung einsynchronisiert. Anstelle eines Meßtasters M sind auch andere berührende Sensoren einsetzbar.

Patentansprüche

35

1. Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung, mit folgenden Verfahrensschritten:

- 1.1 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen ($B_{LA1}, Z_{LA2}, Y_{LA3}$) werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren,
- 1.2 es wird gewartet bis die Folgeachsen (C_{FA}) eine synchrone Drehzahl erreicht haben,
- 1.3 die Leitachsenpositionen (B_M, Z_M, Y_M) und Folgeachsenpositionen (C_M) werden gemessen,
- 1.4 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,
- 1.5 zu jeder Folgeachse (C_{FA}) wird ein Synchronlauffehler (ΔC) ermittelt,
- 1.6 jeder Synchronlauffehler (ΔC) wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse (C_{FA}) ausgeglichen.

2. Verfahren zum Einsynchronisieren von Leit- und Folgeachsen, insbesondere bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern mit elektronischer Achskopplung, wobei sich Leitachse ($B_{LA1}, Z_{LA2}, Y_{LA3}$) und Folgeachse (C_{FA}) nicht in einer Synchronposition (B_0, Z_0, Y_0, C_0) befinden, mit folgenden Verfahrensschritten:

- 2.1 definierte Positionen (B_0, Z_0, Y_0, C_0) für die Leitachsen ($B_{LA1}, Z_{LA2}, Y_{LA3}$) und Folgeachsen (C_{FA}) bezogen auf das Absolutagesystem werden bestimmt,

2.2 die Kopplung wird eingeschaltet und die Leitachsen ($B_{LA1}, Z_{LA2}, Y_{LA3}$) werden auf die gewünschte Geschwindigkeit gefahren, 5
2.3 es wird gewartet bis die Folgeachsen (C_{FA}) eine synchrone Drehzahl erreicht haben,

2.4 die Leitachsenpositionen (B_M, Z_M, Y_M) und Folgeachsenpositionen (C_M) werden gemessen,

2.5 die Meßwerte werden zu einem einheitlichen Abtastzeitpunkt abgespeichert,

2.6 zu jeder Folgeachse (C_{FA}) wird ein Synchronlauffehler (ΔC) ermittelt,

2.7 jeder Synchronlauffehler (ΔC) wird durch eine überlagerte Folgeachsbewegung der zugehörigen Folgeachse (C_{FA}) ausgeglichen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Folgeachsen als periodische Achsen ausgeprägt sind, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

3.1 der Synchronisierweg zum Ausgleichen eines Synchronlauffehlers (ΔC) wird durch Modulordnung mit der Teilung der zugehörigen Folgeachse (C_{FA}) ermittelt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Folgeachsen als endlosdrehende Rundachsen ausgeprägt sind, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

4.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers (ΔC) erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls eine Umdrehung der zugehörigen Folgeachse (C_{FA}).

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Folgeachsen als Teilungsachsen ausgeprägt sind, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

5.1 das Ausgleichen eines Synchronlauffehlers (ΔC) erfolgt durch Auswahl des kürzesten Weges innerhalb des Moduls der Teilungszahl der zugehörigen Folgeachse (C_{FA}).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, mit folgendem weiteren Verfahrensschritt:

6.1 die definierte Position (C_0) für die Folgeachse (C_{FA}) wird durch einen berührungslosen Sensor (S) oder einen berührenden Sensor (M) bezogen auf das Absolutagesystem bestimmt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

THIS PAGE BLANK (USPTO)

- Leerseite -

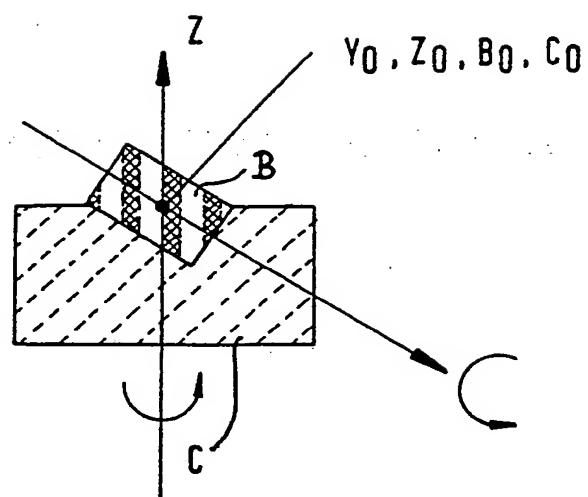


FIG. 1

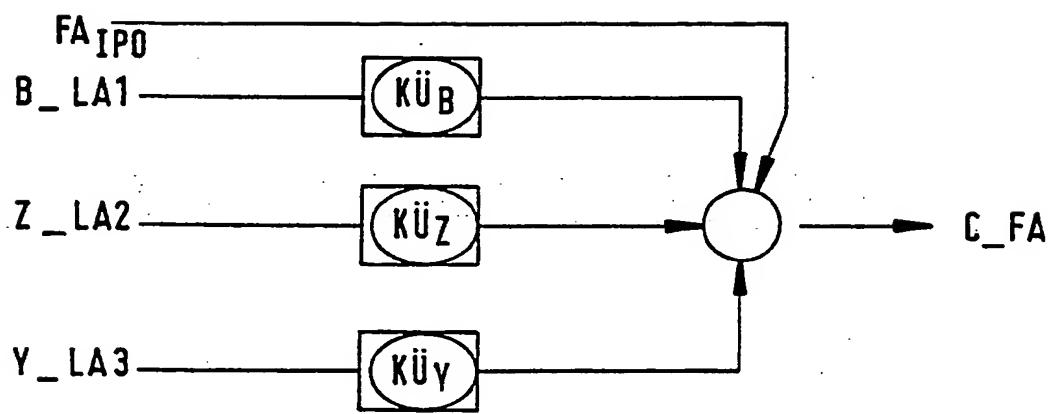


FIG 2

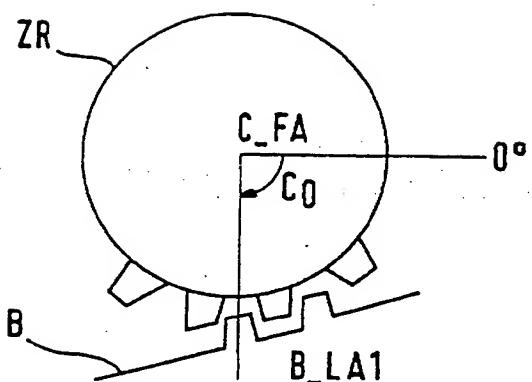


FIG 3

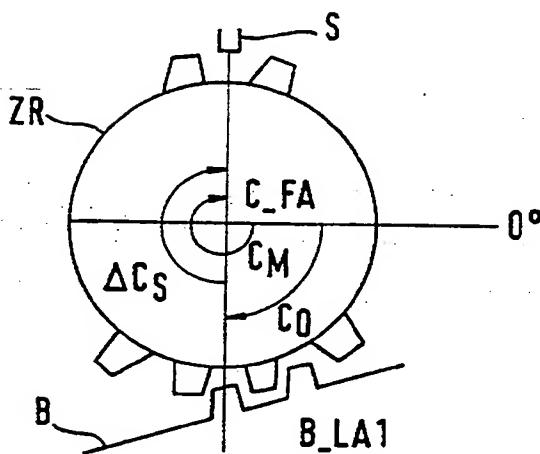


FIG 4

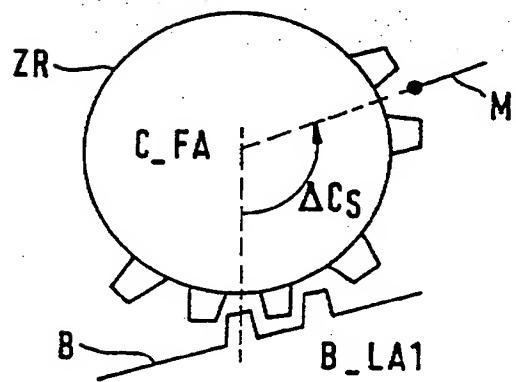


FIG 5